Deutscher Bundestag
9. Wahlperiode

Drucksache 9/165

16. 02. 81

Sachgebiet 92

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht über die Förderung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen

Der Deutsche Bundestag hat in seiner 211. Sitzung am 17. April 1980 folgende Beschlußempfehlung des Ausschusses für Verkehr und das Post- und Fernmeldewesen zur Förderung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen angenommen (Drucksache 8/3784):

„Die Bundesregierung wird aufgefordert,

1. dem Deutschen Bundestag bis zum 1. November 1980 einen Bericht über die Förderungsmöglichkeiten, die derzeitigen Einsatzmöglichkeiten und Hemmnisse für den serienmäßigen Einsatz von Elektrofahrzeugen vorzulegen sowie die Notwendigkeiten von Forschungsförderung zu weiteren technischen Entwicklungen darzustellen,
2. in dem Bericht insbesondere auch die Möglichkeiten großer Fuhrparks im Zustell- und Verteilerverkehr von Betrieben der öffentlichen Hand im Nahverkehr, zum Beispiel der Deutschen Bundespost, einzubeziehen."

Terminverlängerung zum 1. Februar 1981 wurde gewährt.

Die Angaben zu diesem Bericht wurden von den mit der Herstellung und dem Betrieb von E-Kfz befaßten Firmen und Verbänden zur Verfügung gestellt.

Die Zusammenstellung der Materialien besorgte die SNV Studiengesellschaft Nahverkehr mbH, Hamburg, im Auftrage des Bundesministers für Verkehr.

1. Historische Entwicklung

Das erste elektrisch angetriebene Automobil in Deutschland führte Werner von Siemens 1882 in Berlin vor: Der „Electromote" war ein umgebauter Jagdwagen, dessen Antrieb über eine Oberleitung mit Energie versorgt wurde. Als öffentliches Verkehrsmittel wurde erstmals im Jahre 1901 ein Oberleitungsbus in Sachsen eingesetzt. Die damals entstandenen Obus-Anlagen wurden jedoch nach wenigen Jahren wieder stillgelegt, da die Straßenverhältnisse, die Reifen und die Wagen noch nicht den gestellten Anforderungen gerecht werden konnten. Erst um das Jahr 1930 fanden Obusse wieder in vielen Ländern Eingang in den öffentlichen Nahverkehr. Die Entwicklung ist seither sehr unterschiedlich verlaufen: In einer Reihe von Ländern, insbesondere in den Ostblockländern ist der Obus-Betrieb ständig ausgedehnt worden, während er in anderen Ländern teilweise wieder eingestellt und durch andere Verkehrssysteme ersetzt worden ist.

Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge kamen erstmals etwa im Jahr 1890 in den Handel. Um die Jahrhundertwende wurden elektrisch angetriebene Personen- und Güterfahrzeuge sowie auch Omnibusse hergestellt.

Im Zuge der Weiterentwicklung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor konnten sich die batterie-elektrisch angetriebenen Fahrzeuge jedoch nicht behaupten. Die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor haben aufgrund der sehr hohen Energiedichte flüssiger Kraftstoffe eine größere Reichweite bei erheblich kürzeren „Auftankzeiten" und bei einem geringeren Gesamtgewicht. Aufgrund der damaligen Randbedingungen (insbesondere in bezug auf Energie und Umwelt) konnten die Mehrkosten der Elektrofahrzeuge gegenüber den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor nicht gerechtfertigt werden. Lediglich in einigen Bereichen des Nutzfahrzeugsektors wurden Elektromobile noch in nennenswertem Umfang eingesetzt. So verwendete beispielsweise die Deutsche Bundespost Elektrofahrzeuge noch bis in die fünfziger Jahre.

Gemäß Beschluß des Deutschen Bundestages vom 17. April 1980 — Drucksache 8/3784 — zugeleitet mit Schreiben des Bundesministers für Verkehr — A 24/16.50.00 — vom 10. Februar 1981.

2. Grundlagen für den batterieelektrischen Straßenverkehr

Die energiewirtschaftliche Entwicklung der letzten Jahre zwingt immer mehr dazu, das Mineralöl als Energieträger rationeller zu nutzen und, wo immer sinnvoll und möglich, durch andere Energieträger zu ersetzen. Die Gründe dafür liegen einmal in der begrenzten Menge dieses Rohstoffes und dem damit zusammenhängenden beschleunigten Preisanstieg sowie zum anderen in der fast vollständigen Importabhängigkeit der Bundesrepublik. Im Falle eingeschränkter Verfügbarkeit des Erdöls kann dieses zu gravierenden Problemen für die Volkswirtschaft führen.

Im Verkehr als einem fast vollständig vom Mineralöl abhängigen Verbrauchssektor (derzeit 97 v. H.) müssen deshalb alle Möglichkeiten zur Mineralöl-Einsparung und -Substitution wahrgenommen werden. Eine dieser Möglichkeiten ist der Einsatz von Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr. Als Nebeneffekt können gleichzeitig die Umweltbelastungen durch Abgase und Lärm örtlich vermindert werden. Die Infrastruktur zur Bereitstellung von elektrischer Energie ist prinzipiell vorhanden, und der Einsatz von Fahrzeugen mit Elektroantrieb ist, wie die praktischen Testerfahrungen der letzten Jahre gezeigt haben, technisch möglich.

2.1. Konzepte von Elektro-Straßenfahrzeugen

Die Elektro-Straßenfahrzeuge haben gegenüber den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bei gleicher Nutzlast aufgrund des vielfach höheren Speichergewichtes der Blei-Säure-Batterie im Vergleich zum Kraftstofftank ein höheres Gesamtgewicht, das wiederum fahrwerkseitige Verstärkungen erfordert. Wegen anderer Antriebseigenschaften des Elektromotors gegenüber dem Verbrennungsmotor sind bei Elektromobilen außerdem Veränderungen im Bereich der Antriebskraftübertragungselemente notwendig.

Elektro-Antriebe sind durch die folgenden Merkmale charakterisiert: Kein Anlaßvorgang, hohes Anfahrmoment, keine Energieabgabe aus dem Speicher bei Leerlauf, ausgenommen für Hilfsantriebe, Kurzzeitüberlastbarkeit, Schwingungs- und Geräuscharmut, kein Abgas. Da die Energieversorgung des Fahrzeugs aus der Batterie (Gleichstrom) erfolgt, sind vor allem Gleichstrommaschinen als Antriebsmotore geeignet. Derzeitig werden vorrangig zwei Varianten des Gleichstrommotors eingesetzt, nämlich der Nebenschluß- und der Reihenschlußmotor.

Hinsichtlich der *Antriebssteuerung* ist zwischen dem sogenannten „Einfachantrieb" und der vollelektronischen Steuerung zu unterscheiden. Der Einfachantrieb stellt eine Verbindung zwischen dem Elektromotor und dem konventionellen Schaltgetriebe dar. Den vergleichsweise günstigen Anlagekosten dieser Antriebssteuerung steht ein geringerer Wirkungsgrad und damit eine geringere Reichweite als bei vollelektronischer Steuerung gegenüber. Der bessere Gesamtwirkungsgrad der vollelektronischen Steuerung ist u. a. auf die Möglichkeit der Nutzbremsung bis zum Stillstand zurückzuführen.

Als *Energiespeicher* für batteriebetriebene Elektro-Straßenfahrzeuge werden nach dem heutigen Kenntnisstand mindestens noch für die nächsten zehn Jahre Blei-Säurebatterien am besten geeignet sein. Maßgeblich hierfür sind Wirtschaftlichkeitsgründe sowie Materialverfügbarkeit und Kenntnis ausgereifter Herstellungsverfahren.

Die Kapazität von Blei-Säurebatterien wird in erster Linie durch Anzahl, Größe und Oberfläche der Elektroden in jeder Zelle bestimmt. Darüber hinaus hängt die Kapazität auch von der Temperatur, dem Entladestrom und der Tiefe der Entladung ab.

Die Erprobung unterschiedlicher Blei-Säurebatterie-Varianten ergab Vorteile der Röhrchen-Traktionsbatterie (auch „Panzerplattenbatterie" genannt) gegenüber der Gitterplattenbatterie. Die maximale Lebensdauer der Batterie in Gitterplattenausführung betrug bei der Erprobung in Elektro-Transportern je nach Fahrzeugtyp 10 000 km bis 13 600 km. Für die Röhrchen-Traktionsbatterie liegen noch keine gemessenen Endwerte vor. Nach Herstellerangaben wird für diese Batterie eine Lebensdauer von 65 000 km bis 80 000 km erwartet; das entspräche bei einer durchschnittlichen Fahrleistung eines Transporters von jährlich 15 000 km einer Lebensdauer von etwa vier bis sechs Jahren.

Definiert als Zahl der Lade-/Entladezyklen wird die Lebensdauer von Röhrchen-Traktionsbatterien beim Einsatz im Elektro-Straßenfahrzeug auf mindestens 800 bis 1 000 Zyklen beziffert (durchschnittlicher Entladungsgrad 75 v. H.). Nach Herstellerangaben sind im kurz- bis mittelfristigen Bereich Verbesserungen auf 1 200 Zyklen und im mittel- bis langfristigen Bereich auf 1 500 Zyklen zu erwarten. Batterien mit höherer Energiedichte erreichen eine niedrigere und solche mit geringerer Energiedichte eine höhere Zyklenzahl.

Die Traktionsbatterie eines kleineren Pkw wiegt etwa 320 kg, die eines Transporters ca. 1 000 kg und die eines Busses ca. 6 100 kg. Der Anteil des Bleis am Gesamtgewicht der Batterie liegt zwischen 70 v.H. und 90 v. H. Es würde damit in der Einführungsphase von batterieelektrischen Fahrzeugen ein Rohstoff-Mehrbedarf an Blei entstehen, der überschlägig auf etwa 40 Tsd. t pro Jahr abgeschätzt werden kann (gegenüber einer Weltproduktion von 3 600 Tsd. t p. a.). Da das eingesetzte Blei mit einem Rückgewinnungsgrad des Bleischrotts von mehr als 90 v. H. wiederverwertet werden kann, fiele ein nennenswerter Mehrbedarf an Blei nur für die Dauer von etwa zehn Jahren an. Gravierende Auswirkungen auf die Verfügbarkeit des Rohstoffes Blei wären nicht zu erwarten, da die Reichweite der im Abbau befindlichen Rohstoffvorräte auf etwa 40 Jahre geschätzt werden kann.

Auf dem Batteriesektor sind technologische Weiter- und Neuentwicklungen notwendig, um die Energiedichte von Traktionsbatterien zu erhöhen. Hierfür sind deshalb noch Forschungsaufwendungen erforderlich. Neben den Blei-Säurebatterien sind die folgenden Batteriesysteme zu nennen, an deren Weiterentwicklung hohe Erwartungen im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten als Traktionsbatterien ge-

knüpft werden: Nickel-Eisen-Batterie, Nickel-Zink-Batterie und Natrium-Schwefel-Batterie.

Als *Nebenaggregate* sind für Elektromobile außer dem Luftpresser, der Lenkhilfe und dem Kühlluftgebläse das Bordladegerät, der Ladewandler sowie die Kraftstoffheizung zu nennen.

Das Bordladegerät ist erforderlich, wenn die Traktionsbatterie an einer 220 V/16 A-Steckdose nachgeladen werden soll. Zum Laden der Bordnetzbatterie aus der Traktionsbatterie ist ein Ladewandler notwendig.

Wegen der geringen Verluste, die bei der Energieumsetzung im Fahrzeug entstehen, ist eine direkte Beheizung des Fahrgastraumes — vergleichbar der Beheizung mittels der Motorwärme von Verbrennungsmotoren — technisch nur mit Hilfe von Zusatzgeräten (z. B. Wärmepumpe) möglich. Da diese Zusatzgeräte derzeit noch nicht einsatzreif entwikkelt sind, werden E-Fahrzeuge mit Kraftstoff-Zusatzheizung und entsprechenden Einrichtungen (Tank) betrieben.

Fahrzeugseitig sind zusammenfassend beim Elektroauto erhebliche Maßnahmen erforderlich, während z. B. die Umstellung der heute produzierten Fahrzeuge auf Methanolkraftstoff nur mit relativ geringem Aufwand verbunden ist.

2.2. Anforderungen an die Infrastruktur

Eine wichtige Voraussetzung für den Betrieb der Elektro-Straßenfahrzeuge bildet die Versorgungsinfrastruktur, die sich im wesentlichen auf vorhandene Versorgungsnetze stützt. Für den Bereich der privaten Nutzung steht, bedingt durch das bereits vorhandene Elektrizitätsversorgungsnetz, eine Versorgungsinfrastruktur weitgehend zur Verfügung. Eventuelle Erweiterungen der Anschlußmöglichkeiten im privaten Bereich sind mit sehr geringen Mitteln möglich. Für größere Fuhrparks entstehen z. T. beachtliche Kosten für das Errichten und Betreiben von besonderen Transformatorenstationen. Zusätzliche Versorgungsanschlüsse müssen allerdings noch dort errichtet werden, wo ein Elektro-Straßenfahrzeug an einer jedermann zugänglichen Stelle, z. B. öffentliche Parkplätze, nachgeladen werden soll. Im Bereich der gewerblichen und der öffentlichen Nutzung ist davon auszugehen, daß die hierfür vorgesehenen Fahrzeuge zum Dienstschluß wieder an einen bestimmten Standort zurückkehren und dort über Nacht aufgeladen werden. Im Bereich der öffentlichen Nutzung, z. B. Verkehrsbetriebe, ist das technische Konzept einer Ladestation für Nachladungen während der Betriebszeit bereits in der Erprobung.

Nach Angaben der Automobilhersteller ist gegenwärtig eine gezielte Neukonstruktion von E-Straßenfahrzeugen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht gerechtfertigt. Als ein gangbarer Weg wird deshalb von seiten der Industrie die Verwendung eines konventionellen Grundfahrzeugs angesehen. Unter diesen Voraussetzungen wären deshalb bei den Kfz-Herstellern keine neuen Produktionseinrichtungen größeren Umfangs erforderlich. Ähnliche Bedingungen gelten auch für die Herstellung der Elektromotore, während für die Produktion von Traktionsbatterien und für die Aufarbeitung des Bleischrotts aus gebrauchten Batterien voraussichtlich neue Produktionsanlagen zu errichten wären.

Zusammenfassend zeigt sich, daß die *Infrastruktur im wesentlichen vorhanden* ist. Dies begünstigt die Verwendung von Elektrizität im Vergleich zu anderen Antriebsenergien wie z. B. Methanol, synthetisches Benzin oder Wasserstoff, deren Herstellung bzw. Verteilung erhebliche Infrastrukturinvestitionen erfordern.

2.3. Nutzungsaspekte

Batteriebetriebene Elektro-Straßenfahrzeuge unterligen im Vergleich zu Straßenfahrzeugen mit Verbrennungsmotor technisch bedingten Restriktionen.

Als wichtigste, den Anwendungsbereich von Elektro-Straßenfahrzeugen einschränkende Restriktion ist die geringe Tagesreichweite zu nennen, die von dem größtmöglichen Fahrschritt je voller Batterieladung (Schrittreichweite) und von den Möglichkeiten für Zwischennachladungen bzw. für Batteriewechsel abhängt. Als mittlere Tagesreichweiten von batteriebetriebenen Elektro-Pkw und -Transportern kann von etwa 60 km bis 100 km ausgegangen werden.

Weitere Einschränkungen für die Nutzung von Elektro-Straßenfahrzeugen können sich aus dem höheren Fahrzeug-Gesamtgewicht bei gleicher Nutzlast bzw. dem kleineren Zuladungsgewicht und -volumen bei gleicher Fahrzeuggröße ergeben.

Aufgrund dieser technisch bedingten Restriktionen ist die Anwendung des batteriegespeisten Elektroantriebs auf solche Fahrzeuge beschränkt, die ausschließlich im Nahverkehr eingesetzt werden. Die günstigsten Einsatzbedingungen bestehen dabei in größeren Fahrzeugflotten, weil es hier am leichtesten möglich ist, bestimmte Fahrzeuge ausschließlich im Nahbereich einzusetzen. Daneben ist die Nutzung von Elektrofahrzeugen aber auch in den Fällen denkbar, in denen zwei oder mehr Pkw von einem Privathaushalt gehalten werden, da Zweitwagen in der Regel ohnehin überwiegend im Kurzstreckenverkehr fahren.

3. Vorliegende Betriebserfahrungen

3.1. Elektro-Pkw

In der Bundesrepublik Deutschland sind bisher noch keine Großversuche mit batteriebetriebenen Pkw durchgeführt worden. Erste Erfahrungswerte aus dem praktischen Betrieb liefert ein „Experimentier-Elektro-Pkw (EEP)", der aus einem Serien-Pkw (Audi 100) entwickelt wurde und während eines Jahres Fahrbetriebs eine Laufleistung von 10 000 km erreicht hat. Dabei zeigte sich, daß das Fahrzeug leistungsmäßig in den Stadtverkehr integriert werden kann. Allerdings liegt die Schrittreichweite von 40 km bis 50 km noch unterhalb der gestellten Mindestforderung von 60 km.

Weitergehende praktische Erfahrungen mit Personenkraftwagen liegen aus dem Ausland vor (z. B. aus Frankreich, Großbritannien, Japan und aus den USA). Den dort durchgeführten Erprobungen zufolge liegt das Haupteinsatzgebiet der Elektrofahrzeuge nicht im reinen Pkw-Bereich, sondern eher bei Kombinationskraftwagen. Die Leistungen dieser kleineren Nutzfahrzeuge hinsichtlich der Schrittreichweite und der Nutzlast entsprechen — wie beispielsweise aus Frankreich berichtet wird — größtenteils den im Stadtverkehr gestellten Anforderungen.

3.2. Transporter

In der Bundesrepublik Deutschland ist im Jahre 1974 eine Testreihe zur praktischen Erprobung von Elektro-Transportern angelaufen. In diesen Versuch, der gegenwärtig noch fortgeführt wird, werden insgesamt 130 Transporter unter verschiedenen Betriebsbedingungen und an unterschiedlichen Einsatzorten erprobt. Betreiber der Transporter sind in der Mehrzahl Energieversorgungsunternehmen und Stadtwerke. Die Fahrzeuge genügen mit einer Höchstgeschwindigkeit von ca. 70 km/h, einer Steigfähigkeit bei voller Nutzlast von 16 bis 20 v. H. und einer Beschleunigung von 0 bis 50 km/h von 12 bis 16 s den an Nutzfahrzeuge im Stadtverkehr zu stellenden Leistungsanforderungen. Entsprechend den Versuchsergebnissen sind Fahrschritte bis zu 40 km auch unter extremen Bedingungen möglich. Unter Berücksichtigung von Zwischennachladungen beträgt die Tagesreichweite ca. 85 km; bei der Verwendung von Kurzzeitladern etwa 120 km.

Auf der Grundlage dieser Versuchsergebnisse ist eine neue Elektro-Transportergeneration entwickelt worden, deren Erprobung im Jahre 1980 angelaufen ist (Basis VW LT 35 und Daimler Benz 307).

3.3. Busse

Entsprechend den angewandten Technologien können die batteriebetriebenen Omnibusse wie folgt klassifiziert werden:

— Batterie-Elektrobusse,
  — mit Batterie-Wechseltechnik,
  — mit Kurzzeit-Zwischenladung,
— DUO-Busse (Netz-/Batterie-Elektroantrieb),
— Hybrid-Elektrobusse.

Batterie-Elektrobusse mit Batterie-Wechseltechnik werden seit 1974 im Linienverkehr erprobt. Die 20 Fahrzeuge erreichten bisher eine Fahrzeuggesamtlaufleistung von 4,4 Millionen km. Als maximale Schrittreichweite ohne Speicherwechsel wurden 60 km gemessen. Die dem Speicher zu entnehmende Energie sinkt jedoch mit zunehmendem Alter der Batterien ab. Im praktischen Betrieb sollte deshalb nach einer Fahrstrecke von etwa 40 km eine Speicherwechselstation erreicht werden. Das Wechseln der Energiespeicher erfordert im Mittel einen Zeitbedarf von fünf bis acht Minuten.

Die anfänglich im Versuchsbetrieb eingesetzten Batterien hatten eine Lebensdauer von 1 100 Teilzyklen (Entladungsgrad ca. 50 v. H.). Später konnten 1 500 Teilzyklen erreicht werden; dies entspricht einer Fahrstrecke von 60 000 km und damit in etwa der jährlichen Laufleistung eines Standardlinienbusses im öffentlichen Personennahverkehr.

Aufgrund der erst kurzen Laufzeit eines *Batterie-Elektrobusses mit Kurzzeit-Zwischenladung* ist noch keine umfassende Beurteilung dieses Konzeptes möglich. Gezeigt hat sich bisher aus der betrieblichen Sicht, daß bei einer Batterie-Entladetiefe von 50 v. H. bis 60 v. H. Fahrstrecken bis zu 40 km gefahren werden können. Die bisherige Nutzungsdauer der Batterien liegt etwa bei 64 000 km Fahrstrecke.

Vom DUO-Bus in der Variante Elektroantrieb mit Netz- und Batterieversorgung fahren seit 1979 zwei Fahrzeuge in einem Probebetrieb. Eine Wertung ist noch nicht möglich; gezeigt hat sich jedoch bereits, daß einige technische Probleme noch zu lösen sind.

Ebenfalls seit 1979 wird der *Hybridbus* mit dieselbetriebenem Generator zur Nachladung der Batterie und mit elektrischem Antriebsmotor eingesetzt. Dabei wird auf ca. 26 v.H. der Fahrstrecke (entsprechend 50 v.H. der Betriebszeit) mit abgeschaltetem dieselelektrischem Aggregat gefahren. Die maximale Schrittreichweite des Hybridbusses schwankt je nach der Einschaltdauer des Dieselmotors zwischen 25 km und 390 km. Im Versuch hat sich eine Schrittreichweite von etwa 100 km ergeben.

3.4. Energieverbräuche

Einen Vergleich der während der praktischen Erprobungen gemessenen Energieverbrauchswerte von Elektromobilen mit den Energieverbräuchen konventioneller Kraftfahrzeuge enthält Tabelle 1. Bei der Beurteilung der Auswirkungen des Einsatzes von Elektrofahrzeugen auf die Energiebedarfssituation ist zu bedenken, daß die benötigte elektrische Traktionsenergie aus heimischen Energieträgern erzeugt werden kann, während für Kraftstoffe aus Mineralöl eine fast vollständige Importabhängigkeit besteht.

Tabelle 1

Im Versuchsbetrieb gemessene Energieverbrauchswerte von Elektro-Straßenfahrzeugen im Vergleich zu Energieverbrauchswerten konventioneller Kraftfahrzeuge

Fahrzeugtyp	Netzenergieverbrauch bzw. Energieverbrauch ab Tankstelle [1]			Primärenergieverbrauch [2]	
	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Wh}{km}$	$\frac{Wh}{Perskm}$ [3]	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Joule}{Perskm} \cdot 10^6$ [3]
Experimentier-Elektro-Pkw	1,51	420	210	4,52	2,26
konv. Vergleichsfahrzeug (Benzin)	4,01	1 113	557	4,38	2,19
Batterie-Elektrobus [4]	10,19	2 830	113	30,48	1,22
DUO-Bus (Netz/Batterie)	8,64	2 400	96	25,84	1,03
Hybridbus [5] Dieselkraftstoff	13,46	3 740	150	14,73	0,59
Elektrizität	2,88	800	32	8,61	0,34
Gesamt	16,34	4 540	182	23,34	0,93
konv. Standardlinienbus (Diesel)	14,35	3 986	159	15,69	0,63
Fahrzeugtyp	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Wh}{km}$	$\frac{Wh}{t\,km}$ [3]	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Joule}{t\,km} \cdot 10^6$ [3]
Elektro-Transporter, Variante 1	2,12	590	1 180	6,35	12,70
konv. Vergleichsfahrzeug (Diesel)	5,04	1 400	2 800	5,51	11,02
Elektro-Transporter, Variante 2	1,87	520	1 040	5,60	11,20
konv. Vergleichsfahrzeug (Benzin)	4,90	1 362	2 724	5,36	10,72

[1]) Für Elektro-Straßenfahrzeuge sind die im Versuchsbetrieb gemessenen Werte genannt. Die Werte für konventionelle Vergleichsfahrzeuge beruhen auf Herstellerangaben (Pkw und Tranporter) bzw. auf Erfahrungswerten (Standardlinienbus).

[2]) Berechnet unter Berücksichtigung der Umwandlungs- und Verteilungsverluste bzw. -verbräuche bei rein energetischer Betrachtungsweise (bezogen auf jeweils gesamte Produktpaletten).

[3]) rechnerisch ermittelte spezifische Energieverbrauchswerte unter der Annahme einer Pkw-Besetzung mit 2 Personen, einer Bus-Besetzung mit 25 Personen und einer Transporter-Zuladung von 500 kg Nutzlast.

[4]) Werte für Batterie-Elektrobusse mit Batterie-Wechseltechnik; bei Kurzzeit-Zwischenladungen ergeben sich Verbrauchsminderungen, die voraussichtlich in einer Größenordnung von 10 v.H. liegen.

[5]) Genannt sind die in Stuttgart gemessenen Werte; beim Versuchsbetrieb in Wesel wurden geringfügig höhere Werte ermittelt.

Tabelle 2 enthält einen Vergleich der Energieverbräuche von Elektrofahrzeugen und Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor, die mit Kraftstoffen auf Mineralöl- und Kohle-Basis betrieben werden.

3.5. *Zusammenfassende Wertung bisheriger Betriebsergebnisse*

Die Reichweiten von batteriegespeisten Elektro-Straßenfahrzeugen entsprechen in vielen Fällen den Anforderungen, die an Fahrzeuge gestellt werden, die ausschließlich im Nahverkehr zum Einsatz kommen. Allerdings ist das Gewicht der Energiespeicher beim Elektrofahrzeug im Vergleich zum Fahrzeug mit Verbrennungsmotor höher, so daß sich ein ungünstigeres Verhältnis zwischen Nutzlast und Gesamtgewicht ergibt.

Wie die praktische Erprobung der Elektro-Straßenfahrzeuge zeigt, sind die Fahrzeuge technisch realisierbar, betreibbar und im öffentlichen Straßenverkehr im Nahbereich einsetzbar. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit wurde nach anfänglichen Schwierigkeiten ein Standard erreicht, der sich prinzipiell mit Fahrzeugen, die durch einen Verbrennungsmotor angetrieben werden, vergleichen läßt. Im Hinblick auf den Betreiber kann zusammenfassend festgestellt werden, daß Elektro-Straßenfahrzeuge dort einsetzbar sind, wo Nutzlast- und Reichweiteneinschränkungen keine *ausschließenden* Restriktionen darstellen.

4. Zukünftiges Marktpotential für Elektrofahrzeuge

Zur Beurteilung des Marktpotentials von Elektrofahrzeugen stellt sich zunächst die Frage nach dem Anwendungspotential; d. h., es ist zu untersuchen, welche Straßenfahrzeuge gemäß ihren heutigen Einsatzbedingungen sowie den technisch bedingten Restriktionen von Elektrofahrzeugen überhaupt mit Batterien betrieben werden könnten. Inwieweit das Anwendungspotential zu einem Marktpotential, d. h. tatsächlich zu einer Nachfrage nach Elektrofahrzeu-

Tabelle 2

Energieverbrauchswerte von Elektro-Straßenfahrzeugen, konventionellen Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeugen mit Kraftstoffalternativen

Fahrzeugtyp	Netzenergieverbrauch bzw. Energieverbrauch ab Tankstelle [1]			Primärenergieverbrauch [2]	
	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Wh}{km}$	$\frac{Wh}{Perskm}$	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Joule}{Perskm} \cdot 10^6$
1. Pkw im Stadtverkehr [3]					
Benzin aus Mineralöl	2,95	820	410	3,23	1,62
Benzin aus Kohle					
unterer Wert	2,95	820	410	5,92	2,96
oberer Wert	2,95	820	410	8,38	4,19
Methanol aus Kohle	2,81	780	390	5,64	2,82
Elektrizität	1,08	300	150	3,23	1,62
	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Wh}{km}$	$\frac{Wh}{t\,km}$	$\frac{Joule}{km} \cdot 10^6$	$\frac{Joule}{t\,km} \cdot 10^6$
2. Transporter im Stadtverkehr [4]					
Dieselkraftstoff aus Mineralöl	4,77	1 325	2 650	5,22	10,44
Dieselkraftstoff aus Kohle					
unterer Wert	4,77	1 325	2 650	9,57	19,14
oberer Wert	4,77	1 325	2 650	13,54	27,08
Methanol aus Kohle	4,77	1 325	2 650	9,59	19,18
Elektrizität	2,20	610	1 220	6,57	13,14

[1]) Alle Werte beruhen auf Herstellerangaben.
[2]) Berechnet unter Berücksichtigung der Umwandlungs- und Verteilungsverluste bzw. -verbräuche bei rein energetischer Betrachtungsweise (bezogen auf jeweils gesamte Produktpaletten).
[3]) PKW mit 29 kW-Verbrennungsmotor und 450 kg Nutzlast bzw. mit 16/32 kW-Elektromotor und 320 kg Nutzlast; den Energieverbrauchsrechnungen liegt die Annahme einer durchschnittlichen Pkw-Besetzung mit 2 Personen zugrunde.
[4]) Transporter mit jeweils 1 t Nutzlast; den Energieverbrauchsrechnungen liegt die Annahme einer durchschnittlichen Beladung mit halber Nutzlast zugrunde.

gen führt, hängt im wesentlichen von der Wirtschaftlichkeit dieser Fahrzeuge im Vergleich zu den konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ab.

4.1. Flottenbetrieb mit Elektrofahrzeugen

Im Nutzfahrzeugbereich (einschließlich Omnibusse) kann das *Anwendungspotential* batteriebetriebener Elektrofahrzeuge bei vorsichtiger Schätzung mit etwa 80 000 bis 90 000 Fahrzeugen veranschlagt werden. Das entspricht etwa 3 v.H. des Gesamtbestandes an Nutzfahrzeugen.

Das größte Anwendungspotential besteht für Güterverteilerfahrzeuge in Städten. Hier ist neben dem Werknahverkehr von Kaufhauszustelldiensten, Reinigungs- und Wäschereidiensten, Filialdiensten von Lebensmittelbetrieben, Energieversorgungsdiensten usw. vor allem auch der staatliche und kommunale Dienstleistungsbereich zu erwähnen.

So ergab eine Befragung von *kommunalen Fuhrparks* in Städten verschiedener Größenordnung, daß etwa 60 v.H. der eingesetzten Lastkraftwagen bis zu einer Nutzlast von 4 000 kg eine maximale tägliche Fahrleistung von 60 km nicht überschreiten; ca. 90 v.H. der Lkw bis 4 000 kg Nutzlast fahren nach den Befragungsergebnissen nie mehr als 80 km täglich.

Die Deutsche Bundespost hat große Erfahrungen im Betrieb mit E-Kfz. Die Fahrzeuge waren im wesentlichen im Haus- zu Hausverkehr eingesetzt. Eine Abwägung der Vor- und Nachteile führte im Jahre 1958 zur Einstellung des Fuhrbetriebes mit E-Kfz, weil die Nachteile überwogen.

Ab 1981 werden in einem Versuch E-Kfz in der Paketzustellung erprobt. Dabei soll untersucht werden, ob die Gründe zur Einstellung des Elektro-Fuhrbetriebes im Jahre 1958 noch zutreffen.

Die Deutsche Bundespost wird die Ergebnisse des Versuches auswerten und interessierten Kreisen zur Verfügung stellen. Zwischenergebnisse sind frühestens nach zwei Jahren, ein Endergebnis ist frühestens vier Jahre nach Indienststellung der gesamten vorgesehenen Versuchsflotte zu erwarten.

Nach Auskunft der Deutschen Bundesbahn beträgt die durchschnittliche tägliche Laufleistung der insgesamt eingesetzten ca. 4 500 Lkw 80 km bis 88 km. Angesichts dieser Fahrleistungen wird es hier nur in Ausnahmefällen günstige Voraussetzungen für den Einsatz von Elektro-Straßenfahrzeugen geben.

Zur Berurteilung der *Wirtschaftlichkeit* sollen beispielhaft die Kosten eines batteriebetriebenen Elektrotransporters und eines Transporters mit Dieselmotor gegenübergestellt werden. Beide Fahrzeuge haben eine Nutzlast von 1 t und eine jährliche Laufleistung von 15 000 km. Den Kostenwerten liegen Preisangaben der Hersteller zugrunde.

Zumindest bei geringen Produktionsstückzahlen ist keine Wirtschaftlichkeit von E-Straßenfahrzeugen zu erreichen, weil die Investitionskosten sehr hoch sind. Bei größeren Produktionsmengen führen rationellere Fertigungsverfahren zu Kostensenkungen (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3

Kostenübersicht für einen Transporter mit 1 t Nutzlast bei einer Jahresfahrleistung von 15 000 km

Stand 1980, ohne Mehrwertsteuer

Bezeichnung	Dim.	Transporter mit Verbrennungsmotor	Transporter mit Elektromotor		
Jahresproduktion	Stück	50 000	50	1 000	10 000
Anschaffungspreise					
Fahrzeug	DM	24 500	81 000	51 000	41 000
Reifen	DM	750	750	750	750
Traktionsbatterie	DM	—	12 000	10 200	4 800
Einzelkosten [1])					
Fahrzeug und Reifen [2])	Pfg/km	30,0	95,6	60,8	49,2
Traktionsbatterie	Pfg/km	—	24,2	16,0	6,9
Energie					
Dieselkraftstoff [3])	Pfg/km	13,6	—	—	—
elektr. Energie [4])	Pfg/km	—	7,9	7,9	7,9
Heizöl [5])	Pfg/km	—	0,4	0,4	0,4
Wartung [6])					
Fahrzeug	Pfg/km	13,8	5,0	5,0	5,0
Traktionsbatterie	Pfg/km	—	2,2	1,1	1,1
Steuern und Versicherung	Pfg/km	12,4	12,0	12,0	12,0
Gesamtkosten	Pfg/km	69,8	147,3	103,2	82,5
Gesamtkosten	DM/Jahr	10 470	22 095	15 480	12 375
Vergleichskosten	v. H.	*100*	*211*	*148*	*118*

[1]) Einzelkosten in Pfg/km bei einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von 15 000 km. Die Kosten für das Fahrzeug und die Traktionsbatterie wurden annuitätisch berechnet; kalkulatorischer Zinssatz 8 v. H.

[2]) Durchschnittliche Nutzungsdauer der Fahrzeuge 8 Jahre; durchschnittliche Laufleistung der Reifen 58 000 km.

[3]) Durchschnittlicher Verbrauch 13,3 l/100 km; Preis je Liter ohne MWSt DM 1,02.

[4]) Durchschnittlicher Verbrauch 61 kWh/100 km; Preis je kWh ohne MWSt DM 0,13, einschließlich Kohlepfennig.

[5]) Durchschnittlicher Verbrauch für die Heizung des Elektrofahrzeugs 0,76 l/100 km; Preis je Liter ohne MWSt DM 0,53. Nach Angaben der Entwickler ist es vorgesehen, die in Form von Wärme vorhandene Verlustleistung der Batterien künftig zum Heizen der Fahrzeuge zu benutzen. Die vorhandene Energie ist nach Herstellerangaben ausreichend, so daß die Zusatzheizung dann entfallen könnte.

[6]) Erwartungswerte aus prinzipieller Betrachtung für E-Fahrzeuge.

4.2. *Elektro-Stadt-Pkw*

Im privaten Sektor ist ein *Anwendungspotential* für den Einsatz von Elektro-Pkw und -Kombi vor allem im Bereich der Zweitwagen zu vermuten, dessen Bestand auf ca. 2,5 Millionen Fahrzeuge zu veranschlagen ist. Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse über die Fahrtenverteilung der Fahrten zur Arbeitsstätte sowie der Einkaufs- und Hobbyfahrten erscheint ein Anwendungspotential für batteriebetriebene E-Straßenfahrzeuge von etwa 40 v.H. des Zweitwagenbestandes als möglich (das entspricht 1 Million Fahrzeuge). Bei dem überwiegenden Anteil von Kurzstreckenfahrten für den gesamten privaten Fuhrpark kann die Benutzung der Zweitwagen in vielen Fällen ohne größere Einschränkungen der Freizügigkeit auf den Kurzstreckenverkehr eingegrenzt werden.

Im gewerblichen und öffentlichen Bereich dürfte das Anwendungspotential unter ausschließlicher Berücksichtigung der technischen Einsatzgrenzen von Elektro-Pkw und -Kombi etwa 5 v.H. des Fahrzeugbestandes betragen (das entspricht einem Anwendungspotential von 200 000 Fahrzeugen).

Dem Kostenvergleich zur Beurteilung der *Wirtschaftlichkeit* von Elektro-Pkw wurden ein Pkw mit 29 kW-Verbrennungsmotor und 450 kg Nutzlast einerseits sowie ein E-Pkw mit vergleichbarer Motorleistung und 320 kg Nutzlast andererseits zugrunde gelegt.

Für Pkw mit Verbrennungsmotor sind die Produktionsverfahren generell auf höhere Stückzahlen ausgelegt als für Nutzfahrzeuge. Es ergeben sich deshalb bei batteriebetriebenen Pkw im Vergleich zu batteriebetriebenen Nutzfahrzeugen erst bei höheren Produktionsstückzahlen entsprechende Rationalisierungsvorteile.

4.3. Elektrizitätsversorgung und Elektrizitätsbedarf

Für die Energieversorgung von Elektro-Straßenfahrzeugen sind keine grundsätzlichen technischen Probleme zu erwarten. Dies gilt sowohl für die Versorgungsnetze als auch für die Versorgungsgeräte. Im Hinblick auf privat genutzte Elektro-Pkw sind allerdings zusätzliche öffentliche Versorgungsanschlüsse erforderlich. Hier sind noch rechtliche und organisatorische Vorarbeiten zu leisten.

Aufgrund der Verbrauchercharakteristik stehen insbesondere in den Schwachlastzeiten *freie Kraftwerksleistungen* zur Verfügung. Es sollte daher — z. B. durch eine geeignete Tarifgestaltung — darauf hingewirkt werden, daß die Möglichkeiten zur Speisung der Batterien während dieser Schwachlastzeiten auch ausgenutzt werden.

Bezogen auf das gesamte deutsche Verbundsystem steht eine ausreichende Kraftwerkskapazität zur Versorgung der Elektro-Straßenfahrzeuge zur Verfügung. Selbst wenn 1985 ein Viertel des gesamten vorher abgeschätzten Anwendungspotentials erreicht würde, läge der Gesamtenergieverbrauch für Elektro-Straßenfahrzeuge nachts bei ca. 2 v.H. der trotz Nachtspeicherheizung noch vorhandenen freien elektrischen Arbeit. Allerdings können z.B. hinsichtlich der Netzstruktur aufgrund regionaler Unterschiede in der Elektrizitätsversorgung in einigen Einsatzgebieten zusätzliche Investitionen erforderlich werden.

Im Hinblick auf den Strombedarf für vermehrte Batterie-Nachladungen am Tage könnten dagegen Kraftwerksneubauten erforderlich werden. Dieses hängt allerdings u. a. von den Regionen ab, der Vorgabe von Reserven und vom Verbrauch weiterer konkurrierender Energieverbraucher — wie beispielsweise von Wärmepumpen — ab, sofern dieser nicht mit dem Tagesverbrauch der Elektro-Straßenfahrzeuge koordiniert werden kann. Durch die Fähigkeit, die Energie hauptsächlich nachts und ganzjährig gleichmäßig abzunehmen, ist das Elektro-Straßenfahrzeug aus der Sicht der Elektrizitätsversorgungsunternehmen ein sinnvoll zu integrierender neuer Abnehmer.

Tabelle 4

Kostenübersicht für einen Pkw bei einer Jahresfahrleistung von 6 000 km

Stand 1980, ohne Mehrwertsteuer

Bezeichnung	Dim.	Pkw mit Verbrennungsmotor	Pkw mit Elektromotor				
Jahresproduktion	Stück	50 000	500	1 000	5 000	10 000	50 000
Anschaffungspreise							
Fahrzeug	DM	8 940	35 440	30 570	23 050	19 950	16 860
Reifen	DM	400	400	400	400	400	400
Traktionsbatterie	DM	—	3 840	3 840	3 264	3 264	1 920
Einzelkosten [1])							
Fahrzeug und Reifen [2])	Pfg/km	23,3	89,1	77,0	58,4	50,7	43,0
Traktionsbatterie	Pfg/km	—	11,1	11,1	8,1	8,1	4,8
Energie							
Normalbenzin [3])	Pfg/km	9,5	—	—	—	—	—
elektr. Energie [4])	Pfg/km	—	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Heizöl [5])	Pfg/km	—	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Wartung							
Fahrzeug	Pfg/km	6,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Traktionsbatterie	Pfg/km	—	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Steuern und Versicherung	Pfg/km	11,5	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
Gesamtkosten	Pfg/km	50,9	119,2	107,1	85,5	77,8	66,8
Gesamtkosten	DM/Jahr	3 054	7 152	6 426	5 130	4 668	4 008
Vergleichskosten	v. H.	*100*	*234*	*210*	*168*	*153*	*131*

[1]) Einzelkosten in Pfg/km bei einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung von 15 000 km. Die Kosten für das Fahrzeug und die Traktionsbatterie wurden annuitätisch berechnet; kalkulatorischer Zinssatz 8 v. H.

[2]) Durchschnittliche Nutzungsdauer der Fahrzeuge zehn Jahre; durchschnittliche Laufleistung der Reifen 50 000 km.

[3]) Durchschnittlicher Verbrauch 9,3 l/100 km; Preis je Liter ohne MWSt DM 1,02.

[4]) Durchschnittlicher Verbrauch 30 kWh/100 km; Preis je kWh ohne MWSt DM 0,13.

[5]) Durchschnittlicher Verbrauch für die Heizung des Elektrofahrzeuges 0,76 l/100 km; Preis je Liter ohne MWSt DM 0,53. Nach Angaben der Entwickler ist es vorgesehen, die in Form von Wärme vorhandene Verlustleistung der Batterien künftig zum Heizen der Fahrzeuge zu benutzen. Die vorhandene Energie ist nach Herstellerangaben ausreichend, so daß die Zusatzheizung dann entfallen könnte.

5. Förderungsmöglichkeiten

Die technische Weiterentwicklung und praktische Erprobung von batteriebetriebenen Elektro-Straßenfahrzeugen wurde von der Bundesregierung (BMV und BMFT) seit Beginn der 70er Jahre mit insgesamt rd. 100 Millionen DM gefördert: hierin ist bereits die Förderung der Batterie-Entwicklung enthalten, die neben dem Fahrzeugbereich auch anderen Bereichen zugute kommt. Die Eigenleistung der beteiligten Industrie beträgt ca. 185 Millionen DM. Aufgrund dieser Anstrengungen sind heute E-Straßenfahrzeuge für solche Anwendungen im Nahverkehr verfügbar, bei denen die geringe Tagesreichweite und das ungünstige Verhältnis zwischen Nutzlast und zulässigem Gesamtgewicht keine Einschränkung bedeuten.

Es wird — außer dem „Kohlepfennig" — keine der Mineralölsteuer vergleichbare Verbrauchsteuer auf den Bezug elektrischer Energie erhoben; für E-Straßenfahrzeuge ermäßigt sich die tarifliche Kraftfahrzeugsteuer um die Hälfte.

Die Bundesregierung wird die Förderungsmaßnahmen für die Weiterentwicklung der Traktionsbatterien fortführen, sonstige Forschungs- und Entwicklungsförderungen erscheinen zur Zeit nicht mehr notwendig.

Die Bundesregierung beabsichtigt gegenwärtig nicht, die Förderung der Markteinführung von Elektro-Straßenfahrzeugen vorzuschlagen; sie wird diese Frage jedoch unter veränderten Randbedingungen insbesondere des Mineralölmarktes erneut prüfen.

Sie geht im übrigen davon aus, daß die Industrie eine Markteinführung elektrischer Straßenfahrzeuge in eigener Verantwortung durchführt und die Risiken und Kosten der Vorhaben selbst übernimmt.



Druck: Bonner Universitäts-Buchdruckerei, 5300 Bonn
Alleinvertrieb: Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 20 08 21, Herderstraße 56, 5300 Bonn 2, Telefon (02 28) 36 35 51
ISSN 0172-6838